

PRV

PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET
Patentavdelningen

REC'D 19 JAN 2004

WIPO

PCT

REC'D PCT/PTO 17 JUN 2005

PCT/ SE 03 / 0 1 9 3 8

Intyg Certificate

Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.

This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in connection with the following patent application.

(71) Sökande Arcam AB, Mölndal SE
Applicant (s)

(21) Patentansökningsnummer 0203766-1
Patent application number

(86) Ingivningsdatum 2002-12-19
Date of filing

Stockholm, 2004-01-09

För Patent- och registreringsverket
For the Patent- and Registration Office



Lisa Junegren

Avgift
Fee

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

PATENT- OCH
REGISTRERINGSVERKET
SWEDEN

Postadress/Adress
Box 5055
S-102 42 STOCKHOLM

Telefon/Phone
+46 8 782 25 00
Vx 08-782 25 00

Telex
17978
PATOREG S

Telefax
+46 8 666 02 86
08-666 02 86

BEST AVAILABLE COPY

TITEL

Anordning samt metod för framställande av en tredimensionell produkt.

TEKNISKT OMRÅDE

- 5 Uppfinningen avser en anordning och en metod för framställning av en tredimensionell produkt genom successiv sammansmältning av utvalda delar av på ett arbetsbord pålagda pulverlager.

TEKNIKENS STÄNDPUNKT

- 10 Genom exempelvis US 4863538 är förut känd en anordning för framställande av en tredimensionell produkt genom successiv sammansmältning av utvalda delar av på ett arbetsbord pålagda pulverlager. Anordningen innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda tredimensionella produkt skall uppbyggas, en pulverdispenser vilken är anordnad att lägga ut ett tunt lager av pulver på
- 15 arbetsbordet för bildande av en pulverbädd, en strålskanon för avgivande av energi till pulvret varvid sammansmältning av pulvret sker, organ för styrning av den av strålskanonen avgivna strålen över nämnda pulverbädd för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella produkt genom sammansmältning av delar av nämnda pulverbädd och en styrdator i vilken
- 20 information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad. Genom sammansmältning av utvalda delar av successiva pålagda pulverlager byggs den tredimensionella produkten upp. Styrdatorn är ämnad att styra avlänkingsorgan för den av strålskanonen genererade strålen över pulverbädden enligt ett körschema vilket avbildar ett förutbestämt mönster.
- 25 När körschemat sammansmält önskat område hos ett pulverlager har ett tvärsnitt hos nämnda tredimensionella kropp bildats. En tredimensionell produkt bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur av pulverdispensern successivt pålagda pulverskikt.
- 30 Genom SE 0001557-8 är förut känt en anordning för framställande av en tredimensionell produkt där uppmätning av ytstrukturen och ytemperaturen hos den producerade tredimensionella kroppen medges under

tillverkningsförfarandet. Genom att nyttja den däri beskrivna anordningen möjliggörs ökad överensstämmelse av formen hos de producerade tredimensionella kropparna i förhållande till avsedd form.

5

För att tillgodose industrins behov vid tillverkning av tredimensionella modeller är det av vikt att uppnå en tillräckligt hög tillverkningshastighet. Detta gäller i synnerhet om en anordning såsom ovan beskriven skall nyttjas för serietillverkning. Försök har gjorts med ökad svephastighet med
10 motsvarande effekttökning hos strålen. I tillverkningsprocessen av de tredimensionella produkterna har det dock visat sig att ytspänningar hos den tillverkade produkten ger upphov till formavvikelse samt inre spänningar i produkten vilka kan ge upphov till initiering av sprickbildning.

15 KORT BESKRIVNING AV UPPFINNINGEN

Ett ändamål med uppfinningen är att tillhandahålla en metod för framställning av tredimensionella kroppar där tillverkningsprocessen för den tredimensionella kroppen kan effektiviseras för reduktion av tillverkningstider.
20 Detta ändamål uppnås genom en anordning enligt den kännetecknande delen av patentkravet 1.

Genom att i en metod för framställning av tredimensionella kroppar, där ett utvalt område vilket motsvarar ett tvärsnitt hos den färdigbildade produkten
25 nyttja två eller flera smältzoner vilka samtidigt propagerar genom det utvalda området vid bildandet av ett tvärsnitt hos den tredimensionella kroppen möjliggörs en effektivisering av tillverkningen.

I en första föredragen metod skapas nämnda två eller flera smältzoner
30 genom en strålskanon tillför energi till två geometriskt avskilda fokuspunkter under tidssampling.

I en ytterligare föredragen utföringsform propagerar strålskanonens fokalpunkter vid nämnda två smältpunkter med en hastighet som motsvarar vågutbredningshastigheten hos smältzonen. Genom detta förfarande steg tillses att risken för överhettning reduceras varvid slutprodukten erhåller en god ytfinish.

I en utföringsform av uppfinningen uppskattas vågutbredningshastigheten genom uppmätning av smältzonens vågutbredningshastighet från information avgivna av organ för avkänning av temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden beläget ytlager.

I en alternativ utföringsform uppskattas vågutbredningshastigheten genom beräkning av en energijämnvikt för ett område innefattande nämnda fokalpunkter, varvid nämnda vågutbredningshastighet erhålles från en modell av en värmeledningsekvation uppställd för nämnda område.

Båda de föreslagna metoderna ger en god uppfattning av vågutbredningshastigheten varvid ett återkopplat system för bibehållande av korrekt propageringshastighet kan åstadkommas.

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen beräknas en energijämnvikt för varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida inmatad energi till pulverlagret vid nämnda tillförande av energi från en strålskanon enligt ett för pulverlagret fastställt körschema för sammansmältning av det enligt nämnda körschema utvalda område av pulverlagret är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos nästkommande lagerinhämtas information som möjliggör upprätthållande av en bestämd arbetstemperatur. Genom att upprätthålla en bestämd arbetstemperatur, dvs en ytemperatur inom ett givet bestämt temperaturintervall under produktionen av samtliga lager tillses att förekomsten ytspänningar som uppkommer vid för stark nedkylning av den tredimensionella kroppen reduceras. Detta medför i sin tur att slutprodukten

uppvisar en reducerad förekomst av formavvikelser samt en reducerad förekomst av inre spänningar i slutprodukten.

Uppfinningen avser även en anordning för framställande av en
5 tredimensionell produkt vilken uppvisar mot metoden motsvarande särdrag.

FIGURBESKRIVNING

Uppfinningen kommer nedan att närmare beskrivas i anslutning till bifogade ritningsfigurer, där:

10

fig. 1 visar en genomskärning av en anordning enligt uppfinningen,

fig. 2 visar schematiskt en genomskärning av en tredimensionell kropp bildad av ett antal pulverlager samt ett översta pulverlager,

15

fig. 3 visar en principmodell för beräkning av energijämnvikt,

fig. 4 visar en andra principmodell för beräkning av energijämnvikt,

20

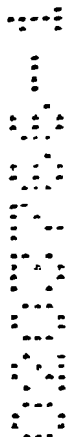
fig. 5 visar förflyttningen av fokalpunkter och smältzoner över en utvald yta,

fig. 6 visar ett urvalt område vilket är indelat i en uppsättning avskilda områden ,

25

fig. 7 visar en indelning av de avskilda områdena i inre områden och ränder,

fig. 8 visar ett område som skall sammansmältas vilket uppvisar ett
30 inre område och en rand,



- fig. 9 visar en uppsättning skilda kurvformer med en endimensionell störterm,
- 5 fig. 10 visar schematiskt hur värmefördelningen ser ut i en kropp där en strålkäns fokalpunkt med diametern D uppvärmt kroppen, dels i närvaro av en störterm, dels i frånvaro av en störterm,
- 10 fig. 11 visar ett exempel på fokalpunktens rörelse i förhållande till förflyttning av fokalpunkten längs den huvudsakliga rörelseriktningen,
- fig. 12 visar en uppsättning skilda kurvformer med en tvådimensionell störterm,
- 15 fig. 13 visar rörelsemönstret för en fokalpunkt enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen,
- fig. 14 visar fokalpunkternas placering samt ett utvidgat område inom vilket sammansmältning sker,
- 20 fig. 15 visar schematiskt rörelsemönstret för fokalpunkten hos strålkäns enligt en utföringsform av uppfinningen,
- fig. 16 visar en vy från sidan av en kammare försedd med ett genomsynligt fönster,
- 25 fig. 17 visar en anordning för frammatning och fixering av en skyddsfilm för bibehållande av genomsynlighet hos fönstret,
- 30 fig. 18 visar ett flödesdiagram för ett körschema hos anordningen,



- fig. 19 visar ett flödesschema för generering av primärkörscheman,
- fig. 20 visar ett flödesdiagram för korrigering av nämnda körschema,
- 5 fig. 21 visar schematiskt ett förfarande för generering av en tredimensionell kropp,
- fig. 22 visar schematiskt ett förfarande innefattande korrigering av körscheman med hjälp av information inhämtad från en kamera
- 10 vilken uppmäter temperaturfördelningen över pulverbäddens yta
- fig. 23 visar en schematisk uppbyggnad av ett tredimensionellt föremål och
- 15 fig. 24 visar ett antal tvärsnitt ur figur 23.

UTFÖRINGSEXEMPEL

- 20 I figur 1 visas en anordning för framställande av en tredimensionell produkt generellt betecknad med 1. Anordningen innefattar ett arbetsbord 2 på vilken en tredimensionella produkt 3 skall uppbyggas, en eller flera pulverdispensrar 4 samt organ 28 vilka är anordnade att lägga ut ett tunt
- 25 strålskanon 6 för avgivande av energi till pulverbädden varvid sammansmältning av delar av pulverbädden sker, organ för styrning 7 av den av strålskanonen 6 avgivna strålen över nämnda arbetsbord för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella produkt genom sammansmältning av nämnda pulver och en styrdator 8 i vilken information om successiva
- 30 tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad, vilka tvärsnitt bygger upp den tredimensionella produkten. Vid en arbetscykel kommer arbetsbordet att successivt sänkas i förhållande till strålskanonen efter varje

- pålagt pulverlager. För att möjliggöra denna förflyttning är i en föredragen utföringsform av uppfinningen arbetsbordet förflyttbart anordnat i vertikalled, dvs i den riktning som indikeras av pilen P. Detta innebär att arbetsbordet startar i ett utgångsläge 2 i ett läge där ett första pulverlager av nödvändig tjocklek pålagts. För att inte skada det underliggande arbetsbordet och för att tillhandahålla tillräcklig kvalitet på detta lager gör detta lager tjockare än övriga pålagda lager, varvid genomsnittet av detta första lager undviks. Därefter sänks arbetsbordet i anslutning till att ett nytt pulverlager utläggs för bildandet av ett nytt tvärsnitt av den tredimensionella produkten. För detta ändamål är i en utföringsform av uppfinningen arbetsbordet uppbyggt av en ställning 9 vilken innefattar åtminstone en kulskruv 10, försedd med tandning 11. En steg- eller servomotor 12 försedd med ett kugghjul 13 ställer in arbetsbordet 2 i önskat höjdläge. Även andra för fackmannen kända anordningar för inställning av arbetshöjd på ett arbetsbord kan nyttjas. Exempelvis kan ställskruvar utnyttjas i stället för kuggstänger.

- Organet 28 är anordnat att samverka med nämnda pulverdispensrar för påfyllnad av material. Vidare drivs organets 28 svep över arbetsytan på känt sätt med en servomotor (icke visad), vilken förflyttar organet 28 längs en guideskena 29 vilken löper längs pulverbädden.

- Vid påläggning av ett nytt pulverskikt, kommer tjockleken av pulverskiktet att bestämmas av hur mycket arbetsbordet sänkts i förhållande till förra lagret. Detta innebär att lagertjockleken kan varieras efter önskemål. Det är därför möjligt att i då ett tvärsnitt uppvisar stor formförändring mellan näraliggande lager att göra tunnare lager varvid en högre ytfinhet uppnås och då liten eller ingen formförändring förekommer göra lager med för strålen maximal genomträngningstjocklek.

- I en föredragen utföringsform av uppfinningen utgörs strålkanonen 6 av en elektronkanon varvid organen för styrning 7 av strålkanonens stråle utgörs av avlänkningsspolar 7". Avlänkningsspolen 7" alstrar ett magnetfält vilket styr

den av elektronkanonen alstrade strålen varvid smältning av ytlagret hos pulverbädden på önskat ställe kan åstadkommas. Vidare innefattar strålskanoner en högspänningskrets 20 vilken är avsedd att på känt sätt förse strålskanonen med en accelerationsspänning för från en hos strålskanonen anordnad emitterelektrod 21. Emmitterelektroden är på känt sätt ansluten till en strömkälla 22 vilken nyttjas till att upphetta emitterelektroden 21 varvid elektroner frigges. Strålskanonens funktion och komposition är välkänd för en fackman på området.

Avlänkningsspolen styrs av styrdatoren 8 enligt ett utlagt körschema för varje lager som skall sammansmältas varvid styrning av strålen enligt önskat körschema kan åstadkommas.

Vidare finns åtminstone en fokusspola 7' vilken är anordnad att fokusera strålen på pulverbäddens yta på arbetsbordet.

Avlänkningsspolar 7'' och fokusspolar 7' kan anordnas enligt ett flertal för fackmannen välkända alternativ.

Anordningen är innesluten i ett hölje 15 som innesluter strålskanon 6 och pulverbädd 2. Höljet 15 innefattar en första kammare 23 vilken omsluter pulverbädden och en andra kammare 24 vilken omsluter strålskanonen 6. Den första kammaren 23 och den andra kammaren 24 kommunicerar med varandra via en kanal 25, vilken medger att emitterade elektroner, vilka accelererats i högspänningsfältet i den andra kammaren kan fortsätta in i den första kammaren för att senare träffa pulverbädden på arbetsbordet 2.

I en föredragen utföringsform är den första kammaren ansluten till en vakuumpump 26 vilken sänker trycket i den första kammaren 23 till ett tryck av företrädesvis $\text{ca. } 10^{-3} - 10^{-5} \text{ mBar}$. Den andra kammaren 24 är företrädesvis ansluten till en vakuumpump 27 vilken sänker trycket i den andra kammaren 24 till ett tryck av $\text{ca. } 10^{-4} - 10^{-6} \text{ mBar}$. I en alternativ

utföringsform kan både den första och den andra kamrarna vara anslutna till samma vakuumpump.

5 Styrdatorn 8 är vidare företrädesvis ansluten till strålskanonen 6 för reglering av avgiven effekt hos strålskanonen samt ansluten till stegmotorn 12 för inställning av arbetsbordets höjdläge 2 mellan varje konsekutiv påläggning av pulverlager, varvid pulverlagrens individuella tjocklek kan varieras.

10 Vidare är styrdatorn ansluten till nämnda organ 28 för pulverutläggning på arbetsytan. Detta organ är anordnat att svepa över arbetsytan varvid ett lager pulver utlägges. Organet 28 drivs av en servomotor (icke visad) vilken styrs av nämnda styrdator 8. Styrdators styr svepets längs samt tillser att pulver påfylls vid behov. För den skull kan lastgivare vara anordnade i organet 28 varvid styrdatorn kan inhämta information om att organet är tomt eller har
15 fastnat.

Styrdatorn 8 är vidare enligt uppfinningen anordnad att beräkna en energijämnvikt för åtminstone ett delområde inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till delområdet från
20 delområdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos delområdet.

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är styrdatorn vidare anordnad att beräkna en energijämnvikt för åtminstone det utvalda området
25 som skall sammansmältas inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till det utvalda området från det utvalda områdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos det utvalda området.

30 Syftet med att beräkna energijämnvikten för pulverlagren är att beräkna effekten som behövs för att hålla objektets yta vid en given temperatur. Effekten antas vara konstant över hela ytan.

Nedan beskrivs hur jämnviktsberäkningen utförs i en utföringsform av uppfinningen där beräkningen utförs för ett lager i taget

5 För att kunna beräkna effekten i realtid krävs förenklingar:

1. Vi tänker oss att temperaturen är konstant i x och y-led och att den varierar enbart i z led, m.a.o. hela ytan har samma temperatur.
2. Temperaturen i z-led varierar med jL_t . Där j är lagernumret och L_t är lagertjockleken.
3. Temperaturfördelningen under smältning anses vara stationär.

Följande parametrar påverkar beräkningen:

15 Olika index:

i = index för översta lagret

j = lager index går från 1 till i

Objektdata:

20 L_t = lagertjockleken som ska smältas [m]

$L_{cont}(j)$ = konturlängden för lager j [m]

$A_{powt}(z) = A_{pow}(j)$ = arean ut mot pulvret för lager j . [m]

$A(z) = A(j)$ total ytan som har smältas för lager j [m²]

25 Materialegenskaper:

λ_{met} = materialets värmeledningsförmåga [W/mK]

σ_{met} = strålningskonstanten för metallytan [W/m²K]

σ_{metpow} = strålningskonstanten för metallyta täckt med pulver [W/m²K]

σ_{pow} = strålningskonstanten för pulverytan [W/m²K]

30 λ_{pow} = pulvrets värmeledningsförmåga [W/mK]

$h_{pow}(z)$ = värmeöverföringstalet från objektet ut mot pulvret [W/m²K]

Temperaturer [K]:

5 $T_{sur}(i)$ = omgivningens temperatur som ytan känner när lager i smälts (Kan mätas på kepsen)

$T_{pow}(z)$ = temperaturen i pulvret

$T(z)$ = temperaturen i objektet

$T_{surf}(i) = T(iL_t) =$ önskad temperaturen på ytan av objektet när lager i smälts. (Sätts i AMA)

10 $T_{bott}(i) =$ temperaturen i botten på objektet innan lager i påbörjas (Mäts precis innan rakning eller beräknas. Se nedan)

15 För att bestämma hur temperaturen fördelar sig i objektet löser vi den endimensionella stationära värmeledningsekvationen inkluderande en källterm som tar hänsyn till värmeförluster ut i pulvret:

$$-\lambda_{met} \frac{\partial^2 T(z)}{\partial z^2} = \frac{h_{pow}(z) A_{pow}(z)}{A(z) L_t} (T_{pow}(z) - T(z))$$

Randvillkoren på ytan och i botten är:

20
$$-\lambda_{met} \frac{\partial T(z)}{\partial z} \Big|_{z=iL_t} = \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(iL_t)^4 - T_{sur}(i)^4) - \frac{P_{in}}{A(iL_t)}$$

$$-\lambda_{met} \frac{\partial T(z)}{\partial z} \Big|_{z=0} = h_{pow} (T_{bott}(i) - T(0))$$

Där A och B är två konstanter.

Skriver om formlerna som differensformler i stället och låter j vara indexet för varje lager.

25

$$\begin{aligned}
 -\lambda_{met} \frac{T(j+2) - 2T(j+1) + T(j)}{Lt^2} &= \frac{h_{pow}(j)A_{pow}(j)}{A(j)Lt} (T_{pow}(j) - T(j)) \\
 -\frac{\lambda_{met}}{Lt} (T(i) - T(i-1)) &= \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(i)^4 - T_{sur}(i)^4) - \frac{P_{in}}{A(i)} \\
 -\frac{\lambda_{met}}{Lt} (T(2) - T(1)) &= h_{pow}(T_{bott}(i) - T(1))
 \end{aligned}$$

där

$$5 \quad 1 \leq j \leq i-2$$

Randvillkoret på ytan ger oss egentligen inget nytt vad det gäller temperaturfördelningen i objektet eftersom ytans temperatur bestäms av $T(i)$.

Men det behövs för att bestämma P_{in} som är effekten som krävs för att hålla

10 temperaturen på ytan vid $T(i)$. $T(j)$ fås nu ur följande ekvationssystem:

$$\begin{aligned}
 \Delta(j) &= -\frac{h_{pow}(j)A_{pow}(j)Lt}{A(j)\lambda_{met}} \\
 T(j+2) - 2T(j+1) + T(j)(1 + \Delta(j)) &= \Delta(j)T_{pow}(j) \\
 T(1) &= T_{bott}(i) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} + T(2) \frac{1}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})}
 \end{aligned}$$

15

Sätter in yttrycket för $T(1)$ och formulerar problemet som ett linjärt ekvationssystem:

$$1. \quad T(3) - 2T(2) + T(2) \frac{(1 + \Delta(1))}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} = \Delta(1)T_{pow}(1) - T_{bott}(i) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} (1 +$$

$$20 \quad 2. \quad T(4) - 2T(3) + T(2)(1 + \Delta(2)) = \Delta(2)T_{pow}(2)$$

$$i-2. \quad -2T(i-1) + T(i-2)(1 + \Delta(i-2)) = \Delta(i-2)T_{pow}(i-2) - T(i)$$

På matrisform blir det:

$$Ax = b$$

5 där då:

$$A_{jk} = \delta(j+1-k) - 2\delta(j-k) + \delta(j-1-k)(1 + \Delta(j)) + \delta(1-k)\delta(1-j) \frac{(1 + \Delta(1))}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})}$$

$$x_1 = T(2), \dots, x_{i-2} = T(i-1)$$

$$b_j = \Delta(j)Tpow(j) - \delta(j-1)Tbott(i) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} (1 + \Delta(1)) - \delta(j-i+2)T(i)$$

- 10 För att kunna lösa ekvationerna krävs det att pulvrets temperatur, $Tpow(j)$, och värmeöverföringstalet, $h_{pow}(j)$, är kända. I programmet är $Tpow(z)$ satt till:

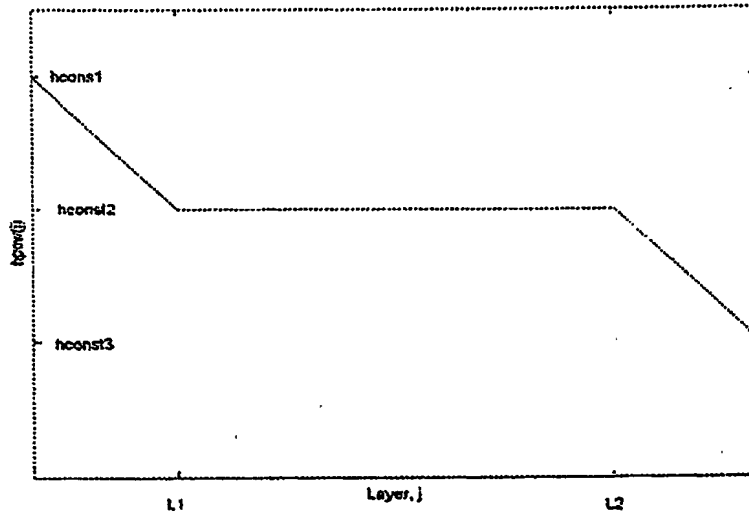
$$Tpow(j) = AT(j)_{i-1} + BTsur(i-1)$$

15

i-1 betyder att temperaturen för det föregående lagret används för att bestämma $Tpow(j)$.



Funktionen som används för $h_{pow}(j)$ ser ut på följande sätt:



Värden L1 och L2 har antagits vara areaoberoende medan hconst1, hconst2 och hconst3 antas bero på $A(j)$. Alla konstanterna i uttrycken för både T_{pow} och h_{pow} har fått fram genom att anpassa 1 D modellen ovan mot en 3D FEM beräkningar på objekt med enkla geometrier.

I uttrycket för källtermen ingår $A_{pow}(j)$ som egentligen är den totala arean ut mot pulvret för varje lager. Vi stora areaövergångar kan detta värde bli rätt stort vilket medför att värdet på källtermen gör ett hopp. Sådana diskreta skutt medför att lösningen blir instabil. För att förhindra detta sätts enligt en förordningen utföringsform $A_{pow}(j)$ till $Lcont(j) * L_t$. Effektförluster som uppstår genom en areaövergång läggs istället till i efterhand. Storleken på effektförlusten beror på hur stor över respektive underarean är och hur långt under topplagret som areaövergången är belägen. Värden för olika areaövergångar och olika djup har fått fram genom 3D FEM simuleringar. För en godtycklig areaövergång fås effekttillägget genom interpolering.

Innan effekten beräknas läser programmet in de olika värden för $Lcont(j) * L_t$ och $A(j)$ för varje lager. Med hjälp av en scriptfil kan man påverka dessa på

olika sätt. På så sätt kan man styra effekten för varje lager. Hur man påverkar de olika geometri parametrarna framgår av beskrivningen över hur scriptfilen fungerar.

5

När ekvationssystemet ovan är löst fås den totala effekten som krävs för att hålla ytan vid $T_{surf}(i)$ ur randvillkoret för ytan:

$$10 \quad P_{in} = A(i) \left(\frac{\lambda_{met}}{L_t} (T(i) - T(i-1)) + \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(i)^4 - T_{sur}(i)^4) \right)$$

När ett lager smälts används olika ström och hastighet över ytan. För att kunna beräkna de olika strömmarna som krävs sätts medelvärdet av alla effekter som används lika med P_{in} .

15 Om ett lager ska smältas med n_i olika strömmar gäller:

$$P_{in} = \alpha U \frac{\sum_{k=1}^{k=n_i} I_{ik} t_{ik}}{T_{tot}}$$

$$t_{ik} = \frac{l_{ik}}{v_{ik}}$$

$$T_{tot} = \sum_{k=1}^{k=n_i} t_{ik}$$

Där t_{ik} är smälttiden för varje ström I_{ik}

l_{ik} är smältlängden

20 v_{ik} är smälthastigheten

T_{tot} är den totala smälttiden för lagret i .

U är accelerationsspänningen.

För att kunna beräkna strömmarna måste man alltså veta hastigheterna.

25 Dessa erhålls ur så kallade *speedfunctions* som anger förhållandet mellan

- ström och hastigheten. Eftersom dessa funktioner inte är analytiska måste ett iterativt förfarande användas för att bestämma alla strömmar och hastigheter. I beräkningsprogrammet gissas varje startvärde på I_{ik} . Därefter hämtas de olika hastigheterna. Värdena på strömmarna ökas sedan på tills medelvärdet av effekten precis överstiger det beräknade värdet på P_{in} .

- Antag nu att vi vill smälta de olika delareorna med en sådan hastighet och ström att energin som avges till materialet blir mindre än den som krävs för att hålla ytan vid $T_{surf}(i)$. Ytan måste då värmas upp. Antalet gånger som behövs för att värma upp ytan fås genom att i uttrycket för medelvärdet på effekten lägga till en uppvärmningsterm:

$$P_i^{heat} = \frac{n\alpha U_i^{heat} T_i^{heat}}{v_i^{heat}}$$

- och i uttrycket för tiden T_{tot} lägga till uppvärmningstiden:

$$t_i^{heat} = \frac{n l_i^{heat}}{v_i^{heat}}$$

där n anger hur många gånger som ytan måste värmas upp.

- Ovan redovisade beräkningsrutin kan nyttjas för hela pulverlagret. I en alternativ utföringsform kan beräkningen ske för olika delareor av pulverlagret.. Även i detta fall kan de ovan angivna ekvationerna nyttjas. Dock erhålles andra randvillkor för de inre ränder som ligger an mot en smält kropp.

25

I figur 2 visas en sidovy av en sammansmält kropp 30 vilken är uppbyggd genom sammansmältning av delområden 31 – 34 i konsekutiva pulverlager i – 1, i – 2, i – 3, i – 4. Givetvis kan en verklig kropp tillverkad enligt uppfinningen innefatta långt fler lager än vad som angivits i detta exempel.

På kroppen är ett översta pulverlager i utlagt. Inom detta översta pulverlager är ett urvalt område 35 beläget. Det utvalda området 35 utgörs av det område som enligt ett körschema skall sammansmältas. Det utvalda området 35 inom lagret i begränsas av en yttre rand 36. Det är givetvis tänkbart att ett
5 urvalt område innefattar såväl yttre som inre ränder. Inom det utvalda området 35 är ett delområde 37 visat för vilket en energijämnvikt skall beräknas. Det delområdet 37 kan utgöras av en del av det utvalda området såsom visats i figur 2 alternativt utgöras av hela det utvalda området. Företrädesvis är det utvalda området 35 indelat i en mängd mindre
10 delområden såsom visas i figur 6.

Energijämnvikten beräknas principiellt enligt $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$, där $E^{in}(i)$ utgör inmatad energi till delområdet $E^{out}(i)$ utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet + $E^{heat}(i)$ utgör upplagrad i delområdet. Den inmatade energin utgörs av dels energi $E^{in(c)}$ vilken
15 instrålats eller inströmmat via värmeledning från omgivningen av det delområde 35 för vilken energijämnvikten beräknas., dels av energi vilken instrålats från strålkanon 6 $E^{in(s)}$. I det fall att energijämnvikten beräknas innan energi tillförts delområdet 35 gäller sålunda att $E^{in(s)} = 0$. Enligt en
20 föredragen utföringsform av uppfinningen sker åtminstone en första energijämnviktsberäkning för delområdet 35 innan energi tillförts via strålkanon 6.

I figur 3 visas schematisk en modell på vilken beräkningen av energijämnvikten för delområdet Δ_1 baseras. I detta fall motsvaras delområdet Δ_1 av en del av det utvalda området av pulverlagret i. I detta fall
25 får ekvationen för beräkningen av energijämnvikten utseendet $E^{in}(\Delta_1) = E^{out}(\Delta_1) + E^{heat}(\Delta_1)$, där $E^{in}(\Delta_1)$ utgör inmatad energi till delområdet $E^{out}(\Delta_1)$ utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet Δ_1 + $E^{heat}(\Delta_1)$ utgör upplagrad i delområdet Δ_1 . Den inmatade energin utgörs av dels energi $E^{in(c)}(\Delta_1)$ vilken instrålats eller inströmmat via värmeledning från

omgivningen av delområdet Δ_1 för vilken, dels av energi $E^{in(s)} \Delta_1$ vilken instrålats från strålkanonen 6.

I figur 4 visas schematisk en modell på vilken beräkningen av energijämnvikten för ett andra delområdet Δ_2 inom det utvalda området 35 i lagret i baseras. I detta fall motsvaras delområdet Δ_2 av en del av det utvalda området 35 av pulverlagret i vilken ännu inte sammansmälts och vilket angränsar till ett första delområde Δ_1 inom pulverlagret i, där utstrålning eller värmeledning sker från nämnda första till nämnda andra delområde. I detta fall får ekvationen för beräkningen av energijämnvikten utseendet $E^{in}(\Delta_2) = E^{out}(\Delta_2) + E^{heat}(\Delta_2)$, där $E^{in}(\Delta_2)$ utgör inmatad energi till delområdet $E^{out}(\Delta_2)$ utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet $\Delta_1 + E^{heat}(\Delta_2)$ utgör upplagrad i delområdet Δ_2 . Den inmatade energin utgörs av dels energi $E^{in(s)}(\Delta_2)$ vilken instrålats eller inströmmat via värmeledning från omgivningen av delområdet Δ_1 för vilken, dels av energi $E^{in(s)} \Delta_2$ vilken instrålats från strålkanonen 6. Den via värmeledning tillförda energin $E^{in(s)}(\Delta_2)$ innefattar dels komponenten $E^{in(s)}(\Delta_2, i - 1)$ vilken motsvarar tillförd energi från tidigare lager samt $E^{out}(\Delta_1, \Delta_2)$ vilken motsvarar energi vilken avletts eller utstrålats från det första delområdet Δ_1 och tillförts det andra delområdet Δ_2 .

20

I figur 5 visas förflyttningen av två fokalpunkter 201, 202 inom det utvalda området 203. Det utvalda området 203 innefattar sålunda två smältzoner 204, 205 vilka samtidigt propagerar genom vid bildandet av ett tvärsnitt hos den tredimensionella kroppen. Smältzonernas 204, 205 propagering visas schematiskt genom förflyttningen av smältzonernas frontlinjer 206, 207. Figuren visar tillståndet hos det utvalda området vid 6 tillfällen. I ett första tillfälle avger strålkanonens 6 energi till fokalpunkten I varvid frontlinjen I bildas. I ett senare tillfälle har strålkanonens fokuspunkt flyttats till fokalpunkten II varvid frontlinjen II bildas. I nästa skede förflyttas fokalpunkten I till fokalpunkten III, dvs. med ett inkrement Δ . Frontlinjen I har under samma tid förflyttats med ett inkrement δ till frontlinjen III. I en

25

30

föredragen utföringsform av uppfinningen är inkrementet δ av samma storlek som inkrementet Δ . I nästs steg förflyttas fokalpunkten II till fokalpunkten IV under förflyttning av frontlinjen II till frontlinjen IV. I ett ytterligare senare skede förflyttas fokalpunkten III till fokalpunkten V samt frontlinjen III till frontlinjen V. Slutligen redovisas hur fokalpunkten IV förflyttas till fokalpunkten VI under förflyttning av frontlinjen IV till frontlinjen VI.

Såsom visats i figur 5 behöver inte förflyttningen mellan tre fokalpunkter vara rätlinjig utan kan styras för att anpassa sig så att frontlinjerna på snabbast möjliga sätt fyller det utvalda området.

För att anpassa hastigheten hos propageringen av fokalpunkten till smältzonernas propageringshastighet, dvs. vågutbredningshastigheten hos smältzonens vågutbredningshastighet uppskattas enligt en utföringsform av uppfinningen vågutbredningshastigheten från information avgivna av organ för avkänning av temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden beläget ytlager. Detta organ kan utgöras av en värmekamera vilken kan uppmäta smältzonens frontlinjes position i två vid varandra efterföljande tillfällen varigenom hastigheten kan beräknas.

I en alternativ utföringsform uppskattas vågutbredningshastighet genom beräkning av en energijämnvikt för ett område innefattande nämnda fokalpunkter, varvid nämnda vågutbredningshastighet erhålles från en modell av en värmeledningsekvation uppställd för nämnda område.

Enligt en första utföringsform av uppfinningen är det i styrdatorn lagrade körschemat så anordnat att det nämnda flertal fokalpunkter är utspridda över hela det utvalda området motsvarande hela tvärsnittet av den tredimensionella kropp som är under bildande. Enligt en alternativ utföringsform nyttjas flera fokalpunkter inom de delområden som redovisas nedan.

I figur 6 visas ett utvalt område 35 vilket är indelat i en mängd mindre delområden. Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är ytan inom varje pulverlager indelad i en uppsättning avskilda områden 38 - 53, varvid en energijämnvikt beräknas för var och en av nämnda uppsättning avskilda områden 38 - 53, vilka innefattar någon del av det utvalda området 35. Det utvalda området begränsas av en yttre rand 72. Givetvis kan det utvalda området även innefatta inre ränder.

Enligt en ytterligare föredagen utföringsform av uppfinningen innefattar nämnda uppsättning avskilda områden 38 - 53 en första grupp områden 54 - 58 vilka ligger helt inom nämnda utvalda områdes rand 72 samt en andra grupp områden 38 - 53 vars ränder delvis sammanfaller med nämnd utvalda områdes rand. I förekommande fall indelas vart och ett av de i nämnda andra grupp ingående områdena 38 - 53 i en andra uppsättning mindre områden 38a - 38 d - - 53a - 53d.

I figur 7 visas schematiskt körschemat enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen där varje område 80 - 91 inom nämnda första och andra grupp av områden utgörs av ett inre I område och en rand R där det inre området I hos en uppsättning angränsande områden inom nämnda första eller andra grupp av områden sammansmälts i ett första processteg, varefter nämnda ränder R mellan nämnda områden sammansmälts. Genom detta förfarande minskas förekomsten av böjspänningar i den tredimensionella kroppen efter avsvälning.

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är körschemat så utformat att det område som skall sammansmältas, dvs det utvalda området, indelas i ett eller flera inre områden I, var och en uppvisande en rand R. I figur 8 visas schematiskt ett område 35 som skall sammansmältas. Området innefattar ett inre området I vilket avgränsas av en rand R. Enligt uppfinningen sammansmälts det inre området I med ett rörelsemönster för fokalpunkten hos strålkärlens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig

- rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komposant i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Störtermen växlar riktning och uppvisar ett tidsmedelvärde motsvarande en nollavdrift från den huvudsakliga
- 5 rörelseriktningen. I figur 9 visas tre olika exempel på olika utseenden på störtermen vilka ger upphov till en rörelse i form av en trekantsvåg, en sinusformad kurva och en fyrkantsvåg.
- I figur 10 visas schematiskt hur värmefördelningen ser ut i en kropp där en
- 10 strålkänns fokalpunkt med diametern D uppvärmt kroppen. Temperaturfördelningen kring fokalpunkten har formen av en Gaussklocka. Temperaturfördelningen kring en fokalpunkt utan störterm visas med kurvan markerad (α). Genom störtermen breddas det spår som bearbetas under strålens propagering längs den huvudsakliga rörelseriktningen. Ett breddat
- 15 spår visas med kurvan indikerad med (β). Det breddade spåret har även en temperaturfördelning med lägre maxvärde. Detta reducerar risken för uppkomst av överhettning med bildande av ojämnheter som följd.
- Störtermen är företrädesvis av sådan art att en smältzon bildas, vilken
- 20 uppvisar en bredd huvudsakligen motsvarande dubbla amplituden hos störtermens komposant i riktning vinkelrätt mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Medelhastigheten av absolutbeloppet av fokalpunktens rörelse i störtermens riktning skall företrädesvis överstiga hastigheten för värmeutbredningen i materialet. Hastigheten i den huvudsakliga
- 25 rörelseriktningen motsvarar företrädesvis hastigheten för värmeutbredningen i materialet. Amplituden och frekvensen hos störtermen skall företrädesvis anpassas så att fokalpunkten hinner röra sig från sitt utgångsläge där störtermen har värdet noll, passera min och maxvärdet för störtermen och återta sitt läge tills det under den tid värmeutbredningens vågfront rör sig
- 30 från första nollläget till det andra nollläget. Detta visas schematiskt i figur 5. I figur 11 visas hur fokalpunkten rör sig längs kurvan 50 från en första-position 51, förbi ett maxima 52 hos störtermen, ett minima 53 hos störtermen för att

därefter anta en andra position 54 med ett nollvärde på störtermen. Under denna tid har värmeutbredningens vågfront propagerat från den första positionen 51 fram till den andra positionen. I det fall att störtermens medelhastighet är för låg bildas i stället för ett brett spår ett kurvformat smält
5 spår vilket löper inom den bana som definieras av störtermens ändpunkter.

Enligt en föredragen utföringsform uppvisar störtermen även en komposant i en riktning parallell med den huvudsakliga rörelseriktningen. Störtermen är i detta fall tvådimensionell. Exempel på störtermer med tvådimensionell
10 riktning ges i figur 12.

Randen R sammansmälts företrädesvis under en huvudsakligen rätlinjig rörelse hos strålskanonens stråle.

15 Syftet med att köra med ett rörelsemönster för fokuspunkten hos strålskanonens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komposant i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen är att man med bredare spår kan förflytta smältzonen långsammare men ändå
20 smälta med en relativt hög hastighet jämfört med konventionell körning. En långsam förflyttning av smältzonen ger mindre förångning och mindre förekomst av att smält material kokar och stänker. Syftet med att randen sammansmälts med en kontinuerlig huvudsakligen rätlinjig rörelse är att detta ger en slät ytstruktur för den färdiga produkten.

25 Nedan följer en analys av rörelsemönstret för strålskanonens stråle vid en föredragen utföringsform av uppfinningen med en tvådimensionell störterm vilket ger upphov till ett spirallikande rörelsemönster för fokuspunkten.

30 Läget för en fokuspunkt som roterar kring x-axeln och som rör sig längs samma axel med hastigheten V_x kan fås ur:

$$\vec{r}(t) = (V_x t + A_x \cos(\omega t))\vec{x} + A_y \sin(\omega t)\vec{y} \quad \text{Ekv. 1}$$

där A_x och A_y är amplituderna i x- respektive y-led.

En typiskt "spinnkurva" kan se ut enligt vad som visas i figur 13:

5

Det i figur 7 visade mönstret fås om ω sätts till:

$$\omega = \frac{2\pi V_x}{A_x} \quad \text{Ekv. 2}$$

10 Fokalpunktens hastighet ges av:

$$\frac{d\vec{r}(t)}{dt} = (V_x - A_x \omega \sin(\omega t))\vec{x} + A_y \omega \cos(\omega t)\vec{y} \quad \text{Ekv. 3}$$

Dess absoluthastighet är således:

15

$$\left| \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \right| = \sqrt{(V_x - A_x \omega \sin(\omega t))^2 + (A_y \omega \cos(\omega t))^2} \quad \text{Ekv. 4}$$

Om fokalpunkten rör sig enligt formlerna ovan så kommer dess hastighet att variera och vara som störst antingen på undersidan av x-axeln och minst på ovensidan eller tvärtom beroende på rotationsriktningen. För att få en

20 fokalpunkt som rör sig med konstant hastighet längs spinnkurvan i Figur 1 beräknas först dess medelhastighet:

$$V_{medel} = \frac{\int_0^T \left| \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \right| dt}{T} \quad \text{Ekv. 5}$$

25 Där :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

V_{medel} är hastigheten som fokalpunkten ska förflytta sig med. Vid tiden t har fokalpunkten förflyttat sig sträckan:

5

$$s = t * V_{medel}$$

Denna sträcka måste vara lika med spinnkurvanslängd vid tiden t' . Alltså:

10

$$s = t * V_{medel} = \int_0^{t'} \left| \frac{dr(t)}{dt} \right| dt \quad \text{Ekv. 6}$$

Genom att lösa ekv. 6 för $0 < t' < T$ fås t' som funktion av t . t' används sedan i Ekv. 1 vilket ger spottens läge som funktion av tiden t .

15

Ett flertal simuleringar med olika hastigheter och A_y har visat att smältzonen 0.1-0.15 mm under ytan har en ungefärlig bredd av $1.8A_y$. Hoppet mellan två spinlinjer bör då vara:

20 $Hopp_{spin} = 1.8A_y - 0.3$

Avståndet till starten från en kant blir ungefär:

$$Starthopp = 0.8A_y - 0.15$$

25 I figur 14 visas att en sammanhängande bred smält rand vilken propagerar i riktningen x markerad med en pil i diagrammet. Fokalpunkterna med en diameter D är markerade i diagrammet. Det överlappande mönstret ser till att sammansmältning sker inom ett område utanför fokalpunkten. Ett sådant område är utritat och markerat med symbolen δ . Sammantaget bildar dessa

områden en heltäckande area vilken propagerar i riktningen markerad med pilen x.

- 5 Enligt en vidare föredragen utföringsform av uppfinningen sammansmälts ränderna R mellan de inre områdena I under en huvudsakligen rätlinjig rörelse hos strålskanonens stråle.

- Enligt vad som visas i fig. 15 innefattar anordningen enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen vidare organ 14 för avkänning av
- 10 ytegenskaper hos ett hos pulverbädden beläget ytlager. Detta organ 14 för avkänning av temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden 5 beläget ytlager utgörs företrädesvis av en kamera. I en föredragen utföringsform av uppfinningen nyttjas kameran dels till att uppmäta temperaturfördelningen på ytlagret, dels till att uppmäta förekomsten av ytojämnheter genom den
- 15 skuggbildning som ytojämnheter ger upphov till. Information om temperaturfördelningen nyttjas dels till att åstadkomma en så jämn temperaturfördelning som möjligt över de delar av ytlagret som skall smältas, dels kan information nyttjas för att kontrollera eventuella måttavvikelser mellan genererad tredimensionell produkt och förlaga eftersom
- 20 temperaturfördelningen återspeglar produktens form. I en föredragen utföringsform av uppfinningen är videokameran monterad på utsidan av det hölje 15 som innesluter pulverbädd 5 och strålskanon 6. För att möjliggöra temperaturmätning är höljet försett med ett genomsynligt fönster 16. Pulverbädden 5 är synlig för kameran genom detta fönster.
- 25
- I en föredragen utföringsform av uppfinningen, vilken visas i figur 16, är fönstret 16 täckt av en skyddsfilm 17. Skyddsfilmen matas från en utmatningsenhet 18 till en uppsamlingsenhet 19 varvid filmen successivt bytas ut vilket medför att genomsynligheten kan bibehållas. Skyddsfilmen är
- 30 nödvändig eftersom beläggningar uppstår till följd av smältprocessen.

I figur 17 visas schematiskt en metod för framställning av tredimensionella kroppar enligt uppfinningen. Den tredimensionella kroppen bildas genom successiv sammansmältning av utvalda områden av en pulverbädd, vilka delar motsvarar successiva tvärsnitt hos den tredimensionella kroppen.

5

I ett första metodsteg 100 sker påläggning av pulverlager på ett arbetsbord. Påläggning sker genom att ovan nämnda organ 28 distribuerar ett tunt lager av pulver på arbetsbordet 2.

- 10 I ett andra metodsteg 110 tillförs energi från en strålskanon 6 enligt ett för pulverlagret fastställt körschema till ett urvalt område inom pulverlagret varvid sammansmältning av det enligt nämnda körschema utvalda område av pulverlagret för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella kropp äger rum. En tredimensionell kropp bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur successivt pålagda
- 15 pulverlager.

- Enligt uppfinningen är nämnda körschema så utformat att det utvalda område uppvisar två eller flera smältzoner vilka samtidigt propagerar genom det utvalda området vid bildandet av ett tvärsnitt hos den tredimensionella
- 20 kroppen.

De två eller flera smältzoner åstadkommes genom att strålskanonen tillför energi till två eller flera geometriskt avskilda fokalpunkter under tidssampling.

- 25 Företrädesvis är körschemat så utformat att strålskanonens fokalpunkter vid smältpunkterna propagerar med en hastighet som motsvarar vågutbredningshastigheten hos smältzonen.

- Enligt en utföringsform av uppfinningen uppskattas
- 30 vågutbredningshastigheten genom uppmätning av smältzonens vågutbredningshastighet från information avgivna av organ för avkänning av temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden beläget ytlager. Detta

organ kan genom att avläsa temperaturfördelningen över kroppens yta notera hur värmen sprids från smältpunkterna och utåt. Den hastighet med vilken värmen sprids motsvarar vågutbredningshastigheten.

- 5 I ett tredje metodsteg 120 beräknas enligt en föredragen utföringsform en energijämnvikt för åtminstone ett delområde inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till delområdet från delområdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos delområdet. Beräkningen sker enligt de modeller som
- 10 redovisats ovan.

- I figur 18 visas schematiskt tillvägagångssättet för generering av primära körscheman. I ett första steg 40 genereras en 3D modell, i exempelvis ett CAD- program, av den produkt som skall tillverkas, alternativt inmatas en
- 15 färdiggenererad 3D modell av den produkt som skall tillverkas till styrdatorn 8. Därefter genereras i ett andra steg 41 en matris innehållande information om utseenden på tvärsnitt av produkten. I figur 23 visas en modell av en hammare med exempel på tillhörande tvärsnitt 31- 33. Dessa tvärsnitt visas även i fig. 24a- 24c. Tvärsnitten utlägges med en täthet motsvarande
- 20 tjockleken av de skilda lagren som skall sammansmältas för att bilda den färdiga produkten. Tjockleken kan med fördel varieras mellan de olika lagren. Det är bland annat fördelaktigt att göra lagren tunnare i områden där stor variation finns på tvärsnittens utseende mellan näraliggande lager. Vid genereringen av tvärsnitten skapas sålunda en matris innehållande
- 25 information om utseende på alla tvärsnitt, vilka tillsammans bygger upp den tredimensionella produkten.

- När tvärsnitten väl är genererade genereras i ett tredje steg 42 ett primärt körschema för varje tvärsnitt. Genereringen av primära körscheman baseras
- 30 dels på formigenkänning av de delar som bygger upp ett tvärsnitt, dels på kunskap om hur körschemat påverkar avsvålningstemperaturen hos lokala delar av ett tvärsnitt. Målsättningen är att skapa ett körschema som medför

att avsvälningstemperaturen är så jämn som möjligt hos de delar som sammansmälts innan nästa lager påläggs samtidigt som avsvälningstemperaturen skall hållas inom önskat intervall för att reducera risken för uppkomst av krympspänningar i produkten samt reducera storleken på uppkomna krympspänningar i produkten, med deformation av produkten som följd.

I första hand genereras ett primärt körschema utgående från formen hos skilda ingående delar av tvärsnittet.

10

I en föredragen utföringsform av uppfinningen utläggs sålunda primära körscheman baserade på erfarenhet om vilka körscheman som ger en god temperaturfördelning på avsvälningstemperaturen hos tvärsnittet, varvid risken krympspänningar i produkten med deformation av produkten som följd kan reduceras. För detta ändamål finns en uppsättning körscheman för områden av skilda former lagrade i ett minne. I en föredragen utföringsform uppdateras detta minne allteftersom resultat av korrigeringar av körschemat utvärderas, varvid ett självlärande system erhålles.

20 I en alternativ utföringsform av uppfinningen matas redan färdiga tvärsnitt, vilka genererats av en fristående dator, in till ett minne i styrdatoren, där nämnda primära körscheman genereras. I detta fall erhålles information direkt till det tredje steget 42 via en extern källa 40a.

25 I figur 19 visas schematiskt ett förfarande för generering av en tredimensionell kropp vilken nyttjar den i anslutning till figur 17 beskrivna metoden. I ett första metodsteg 130 sker ett fastställande av parametrar på vilka en energijämnviktsberäkning baseras. I ett andra metodsteg 140 sker en beräkning av energijämnvikten för ett åtminstone ett delområde hos det utvalda området 35. beräkningen sker enligt den tidigare redovisade metoden.

30

- I ett tredje metodsteg 150 sker en uppdatering av körschemat i beroende av den beräknade energijämnvikten. Om energijämnvikten resulterar att tillräckligt värmeenergi finns lagrad i delområdet för att bibehålla önskad arbetstemperatur sker ingen extra energitillförsel. Om energijämnvikten
- 5 resulterar att tillräckligt värmeenergi inte finns lagrad i delområdet för att bibehålla önskad arbetstemperatur sker enligt en utföringsform av uppfinningen extra energitillförsel i form av förvärmning av delområdet innan sammansmältning sker. Denna förvärmning kan ske genom att strålskanonen sveps mycket snabbt över området eller att strålskanonen sveper över
- 10 området med lägre effekt än normalt alternativt en kombination av båda. Förvärmningen äger rum i ett fjärde metodsteg 160.
- I ett femte metodsteg 170 sker sammansmältningen genom att strålskanonen sveps över delområdet.
- 15 I figur 20 visas schematiskt en utföringsform av uppfinningen vilken i förekommande fall utnyttjar de ovan beskrivna metoderna för generering och korrigering av körscheman. I ett första metodsteg 180 identifieras ett eller flera av inre områden i hos det utvalda området. I ett andra metodsteg 190 identifieras den eller de till nämnda inre områden tillhörande randen eller
- 20 ränderna R vilka var och en omsluter nämnda inre område. I ett tredje metodsteg 200 sammansmälts nämnda inre områden i under en delvis överlappande cirkelformad rörelse hos den av strålskanonen avgivna strålen. Under ett fjärde metodsteg 210 sammansmälts nämnda ränder under en
- 25 rätlinjig rörelse hos strålen.
- Enligt en utföringsform av uppfinningen är körschemat anordnat att konsekutivt sammansmälta pulvret inom ett område i taget inom nämnda inre områden.
- 30 Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är styrdatoren anordnad att indela ytan inom varje pulverlager i en uppsättning avskilda områden, varvid nämnda uppsättning avskilda områden innefattar en första grupp områden

vilka ligger helt inom nämnda utvalda område samt en andra grupp områden vilka ligger delvis inom nämnda utvalda område, där varje område inom nämnda första och andra grupp av områden utgörs av ett inre område med en rand. Styrdatoren är vidare anordnad att tillse att nämnda inre områden

5 hos en uppsättning områden inom nämnda första grupp av områden sammansmälts under en delvis överlappande cirkelformad rörelse hos strålskanonens stråle.

10 I en utföringsform av uppfinningen sker sammansmältningen hos de inre områdena i nämnda andra grupp av områden med en delvis överlappande cirkelformad rörelse. I en alternativ utföringsform av uppfinningen sker sammansmältningen inom de inre områdena i nämnda andra grupp av områden med en huvudsakligen rätlinjig rörelse.

15 Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen nyttjas vid ovan beskrivna utföringsformer avseende indelning av den utvalda ytan i mindre delar den ovan beskrivna beräkningen av energijämnvikt för att styra körschemat med avseende på kalibrering av strålens effekt och tillförsel av energi för uppvärmning av pulverbädden innan slutlig sammansmältning sker.

20

I figur 21 visas schematiskt ett förfarande där strålen från strålskanonen styrs över pulverbädden för att generera ett tvärsnitt av en produkt. I ett första steg 50 påbörjas styrning av strålen över pulverbädden enligt det i steg 42 definierade primära körschemat. I nästa steg 51 mäts temperaturfördelningen

25 på pulverbäddens ytlager av kameran. Av den uppmätta temperaturfördelningen genereras därefter en temperaturfördelningsmatris, T_{ij} -uppmätt, där temperaturen på små delområden av pulverbäddens ytlager lagras. När matrisen är generad jämförs varje temperaturvärde T_{ij} -uppmätt i matrisen med önskat värde hos en börvärdesmatris T_{ij} -börvärde. Pulverbäddens

30 ytlager kan grovt indelas i tre kategorier. För det första, områden där sammansmältning pågår genom bearbetning av strålskanonen. I dessa områden är maximala smälttemperatur T_{ij-max} av intresse. För det andra,

- områden som redan sammansmälts och som därigenom svalnar. I dessa områden är en minimal tillåten avsvälningstemperatur $T_{ij\text{-avsvälning-min}}$ av intresse eftersom alltför kall avsvälningstemperatur ger upphov till spänningar och därigenom deformationer av ytlagret. För det tredje, områden som inte
- 5 bearbetats av strålskanonen. I dessa områden är bäddtemperaturen $T_{ij\text{-bädd}}$ av intresse. Det är även möjligt att temperaturen jämförs enbart i bearbetade områden, varvid $T_{ij\text{-bädd}}$ inte lagras och/eller kontrolleras.
- I ett tredje steg 52 undersöks om $T_{ij\text{-uppmätt}}$ avviker från önskat värde $T_{ij\text{-börvärde}}$
- 10 och om avvikelsen är större än tillåtna gränsvärden. Gränsvärden $\Delta T_{ij\text{-max}}$, $\Delta T_{ij\text{-avsvälning}}$ och $\Delta T_{ij\text{-bädd}}$ tillhörande de tre olika kategorierna finns lagrade i styrdatorn 8. Det är även möjligt att bäddtemperaturen inte kontrolleras. I detta fall lagras inte det tillhörande gränsvärdet. Om avvikelsen mellan $T_{ij\text{-uppmätt}}$ och $T_{ij\text{-börvärde}}$ inte
- 15 överstiger detta gränsvärde undersöks i ett fjärde steg 53 huruvida ytlagret är färdigbearbetat. Om så inte är fallet fortsätter körningen enligt det gällande körschemat varvid ovan nämnda metodsteg 50 – 53 genomlöpes ytterligare en gång.
- 20 Om avvikelsen mellan $T_{ij\text{-uppmätt}}$ och $T_{ij\text{-börvärde}}$ överstiger något av nämnda gränsvärden sker en korrigerig av körschemat 42 i ett femte steg . Nämnda korrigerig utförs i en föredragen utföringsform enligt det schema som visas i figur 17.
- 25 I en föredragen utföringsform av uppfinningen utlägges ett nytt pulverlager först efter färdigställandet av varje lager, varvid produkten uppbygges genom successiva sammansmältningar av pulverlager tills det att produkten är färdig. I detta fall påbörjas, efter ett sjätte steg 55, ett nytt lager, om produkten i sin helhet inte är färdig, när det i det fjärde steget 53
- 30 konstaterats att körschemat för ett lager är avslutat.

Korrigeringen av körschemat innefattar i en föredragen utföringsform vilken visas i figur 22 följande metodsteg:

- 5 I ett första steg 56 jämförs T_{ij-max} med $T_{ij-max-börvärde}$. Om T_{ij-max} avviker från $T_{ij-max-börvärde}$ överstigande ΔT_{ij-max} kalibreras i ett steg 56a energitillförseln till pulverlagret genom att antingen ändra strålens effekt eller ändra strålens svephastighet.
- 10 I ett andra steg 58 jämförs $T_{ij-avsvainng}$ med $T_{ij-avsvainng-börvärde}$. Om $T_{ij-avsvainng}$ avviker från $T_{ij-avsvainng-börvärde}$ överstigande $\Delta T_{ij-avsvainng}$ ändras strålens körschema i ett steg 58a. Det finns flera sätt att ändra körschemat hos en stråle. Ett sätt att ändra körschemat är att tillåta att strålen återuppvärmer områden innan de avsvainat för mycket. Strålkanonen kan då svepa över redan sammansmälta områden med lägre energiintensitet och/eller högre svephastighet.
- 15 I ett tredje steg 60 undersöks huruvida $T_{ij-bädd}$ avviker från $T_{ij-bädd-börvärde}$. Om avvikelsen är större än $\Delta T_{ij-bädd}$ kan i en utföringsform av uppfinningen bäddens temperatur korrigeras i ett steg 60a, exempelvis genom att strålen förmås svepa över bädden för tillförsel av energi. Det är även möjligt att till anordningen ansluta separat bädduppvärmningsutrustning.
- 20 Det är även möjligt att en storlekskontroll av det föremål som skall tillverkas görs genom den värmekamera som installerats i anordningen. Enligt vad som ovan beskrivits uppmäts bädden och de delar som sammansmälts. Den uppmätta värmefördelningen avspeglar helt och hållet objektets form i ett
- 25 snitt av den tredimensionella kropp som skall skapas. En kontroll av föremålets dimensioner kan därigenom göras i ett fjärde steg 62 och återkoppling av X-Y avlänkning av strålkanonens stråle kan därigenom utföras. Denna kontrol utförs i en föredragen utföringsform av uppfinningen i ett steg 62a där avvikelsen mellan mått på tvärsnittet görs och om avvikelsen
- 30 är större än tillåten, strålkanonens X-Y avlänkning korrigeras.

Dessutom kan insignaler från kameran nyttjas till att identifiera förekomsten ytojämnheter, exempelvis i form av en svetsloppa. När koordinaterna för en ytojämnhet har identifierats kan körschemat uppdateras så att strålskanonen beordras till identifierad koordinat för att smälta ned ytojämnheten.

5

Uppfinningen är inte begränsad till det ovan beskrivna utföringsexemplet, exempelvis kan strålskanonen utgöras av en laser, varvid avlänkingsorganen utgörs av styrbara speglar och eller linser.

- 10 Uppfinningen kan vidare utnyttjas i en anordning för framställande av en tredimensionell produkt genom energiöverföring från en energikälla till ett produktråmaterial, vilken anordning innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda tredimensionella produkt skall uppbyggas, en dispenser vilken är anordnad att lägga ut ett tunt lager av produktråmaterial på arbetsbordet för
- 15 bildande av en produktbädd, ett organ för avgivande av energi till valda områden av produktbäddens yta varvid en fasövergång hos produktråmaterialet medges för bildande av ett fast tvärsnitt inom nämnda område och en styrdator vilken hanterar ett minne i vilket information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad, vilka
- 20 tvärsnitt bygger upp den tredimensionella produkten, där styrdatorn är ämnad att styra nämnda organ för avgivande av energi så att energi tillförs till nämnda valda områden, varvid nämnda tredimensionella produkt bildas genom successiv sammanbindning av successivt bildade tvärsnitt ur av dispensererna successivt pålagt produktråmaterial.

25

I detta fall är utföringsformen inte begränsad till sammansmältning av pulver genom att en strålskanon bestrålar ytan hos en pulverbädd.

- Produktråmaterialet kan utgöras av varje material vilka efter en fasövergång bildar en fast kropp, exempelvis stelning efter smältning eller härdning. Det
- 30 energiavgivande organet kan utgöras en elektronkanon, en laser vilka styrs överarbetsytan alternativt av ett energiavgivande organ vilket kan-projicera ett tvärsnitt direkt på produktbädden.

Den ovan beskrivna utföringsformen kan i övrigt utrustas med alla de särdrag som finns beskrivna i förhållande till den tidigare beskrivna utföringsformerna.

PATENTKRAV

- 1 Metod för framställning av tredimensionella kroppar genom
successiv sammansmältning av utvalda områden av en
5 pulverbädd, vilka delar motsvarar successiva tvärsnitt hos den
tredimensionella kroppen, vilken metod innefattar följande
metodsteg:
påläggning av pulverlager på ett arbetsbord,
tillförande av energi från en strålskanon enligt ett för pulverlagret
10 fastställt körschema till nämnda utvalda område inom
pulverlagret, sammansmältning av det enligt nämnda körschema
utvalda området av pulverlagret för bildandet av ett tvärsnitt av
nämnda tredimensionella kropp, varvid en tredimensionell kropp
bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade
15 tvärsnitt ur successivt pålagda pulverlager
k ä n n e t e c k n a d a v att nämnda utvalda område uppvisar
två eller flera smältzoner vilka samtidigt propagerar genom det
utvalda området vid bildandet av ett tvärsnitt hos den
tredimensionella kroppen.
20
- 2 Metod enligt krav 1, kännetecknad av att nämnda två eller flera
smältzoner åstadkommes genom att en strålskanon tillför energi
till två eller flera geometriskt avskilda fokalpunkter under
tidssampling.
- 25
- 3 Metod enligt krav 1 eller 2, kännetecknad av att nämnda
strålskanons fokalpunkter vid nämnda två smältpunkter
propagerar med en hastighet som motsvarar
vågutbredningshastigheten hos smältzonen.
- 30
- 4 Metod enligt krav 3, kännetecknad av att nämnda
vågutbredningshastighet uppskattas genom uppmätning av

smältzonens vågutbredningshastighet från information avgivna av organ för avkänning av temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden beläget ytlager.

- 5 5 Metod enligt krav 3 eller 4, kännetecknad av att nämnda vågutbredningshastighet uppskattas genom beräkning av en energijämnvikt för ett område innefattande nämnda fokalpunkter, varvid nämnda vågutbredningshastighet erhålles från en modell av en värmeledningsekvation uppställd för nämnda område.
- 10 6 Metod enligt något av kraven 1 - 5 , kännetecknad av att en energijämnvikt beräknas för åtminstone ett delområde inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till delområdet från delområdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos delområdet.
- 15 7 Metod enligt krav 6, kännetecknad av att, förutom nämnda energi för sammansmältning av delområdet, energi för uppvärmning av delområdet tillförs i det fall att beräkningen av energijämnvikt resulterar i att tillräcklig energi för bibehållande av avsedd arbetstemperatur hos delområdet inte föreligger, varvid bestämd arbetstemperatur hos delområdet uppnås.
- 20 8 Metod enligt krav 6 eller 7, kännetecknad av att energijämnvikten för varje pulverlager beräknas enligt $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$, där $E^{in}(i)$ utgör inmatad energi till delområdet $E^{out}(i)$ utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet + $E^{heat}(i)$ utgör upplagrad i delområdet.
- 25 9 Anordning för framställande av en tredimensionell produkt, vilken anordning innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda tredimensionella produkt skall uppbyggas, en pulverdispenser
- 30

- 9 Anordning för framställande av en tredimensionell produkt, vilken anordning innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda tredimensionella produkt skall uppbyggas, en pulverdispenser vilken är anordnad att lägga ut ett tunt lager av pulver på
- 5 arbetsbordet för bildande av en pulverbädd, en strålskanon för avgivande av energi till pulvret varvid sammansmältning av pulvret sker, organ för styrning av den av strålskanonen avgivna strålen över nämnda pulverbädd för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella produkt genom sammansmältning av
- 10 delar av nämnda pulverbädd och en styrdator i vilken information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad, vilka tvärsnitt bygger upp den tredimensionella produkten, där styrdatorn är ämnad att styra nämnda organ för styrning av strålskanonen över pulverbädden enligt ett körschema bildande ett tvärsnitt hos nämnda tredimensionella kropp, varvid
- 15 nämnda tredimensionella produkt bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur av pulverdispensern,
- k ä n n e t e c k n a d a v att nämnda körschema är anordnad
- 20 att styra strålskanonen till två eller flera smältzoner hos nämnda utvalda område, vilka smältzoner samtidigt propagerar genom det utvalda området vid bildandet av ett tvärsnitt hos den tredimensionella kroppen.
- 25 10 Anordning enligt krav 9, kännetecknad av att nämnda körschema är anordnat att under tidssampling styra nämnda strålskanon till två eller flera smältzoner för tillför energi till två geometriskt avskilda fokuspunkter.
- 30 11 Anordning enligt krav 9 eller 10, kännetecknad av att nämnda körschema är anordnad att styra strålskanonens fokuspunkter vid nämnda två smältpunkter med en propageringshastighet som

motsvarar vågutbredningshastigheten hos smältzonen.

- 12
5 Anordning enligt krav 11, kännetecknad av att styrdatorn är anordnad att uppskatta nämnda vågutbredningshastighet genom uppmätning av smältzonens vågutbredningshastighet från information avgivna av organ för avkänning av temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden beläget ytlager.
- 10 13 Anordning enligt krav 11 eller 12, kännetecknad av att styrdatorn är anordnad att uppskatta nämnda vågutbredningshastighet genom beräkning av en energijämnvikt för ett område innefattande nämnda fokalpunkter, varvid nämnda vågutbredningshastighet erhålles från en modell av en
15 värmeledningsekvation uppställd för nämnda område
- 14
20 Anordning enligt något av kraven 10 – 13, kännetecknad av att styrdatorn vidare är anordnad att beräkna en energijämnvikt för åtminstone ett delområde inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till delområdet från delområdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos delområdet.
- 15
25 Anordning enligt krav 14, kännetecknad av att styrdatorn är anordnad att styra nämnda körschema för tillförsel av, förutom nämnda energi för sammansmältning av pulverlager, energi för uppvärmning av pulverlagret i det fall att beräkningen av energijämnvikt resulterar i att körschemat ej ger tillräcklig energi
30 för bibehållande av avsedd arbetstemperatur hos delområdet, varvid bestämd arbetstemperatur hos delområdet bibehålles.

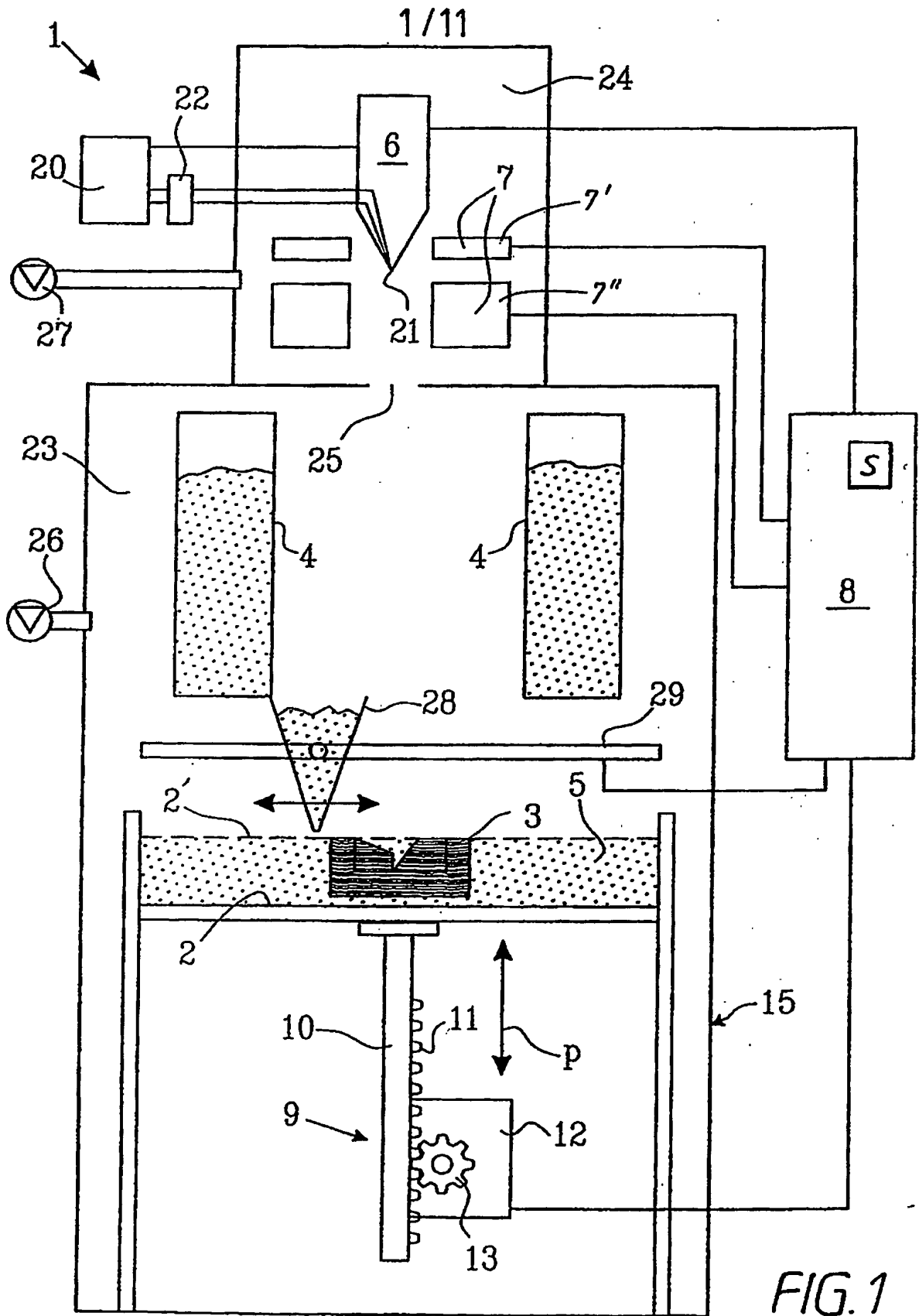
- 16 Anordning enligt krav 14 eller 15, kännetecknad av att styrdatorn
är anordnad att beräkna energijämnvikten för varje pulverlager
enligt $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$, där $E^{in}(i)$ utgör inmatad energi till
delområdet $E^{out}(i)$ utgör energiförluster genom avledning och
5 utstrålning från delområdet + $E^{heat}(i)$ utgör upplagrad energi i
delområdet.
- 17 Anordning enligt något av kraven 10 – 16, kännetecknad av att
anordningen vidare innefattar organ för avkänning av
10 temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden beläget
ytlager.

SAMMANDRAG

- Metod och anordning för framställning av tredimensionella kroppar genom successiv sammansmältning av utvalda områden av en pulverbädd, vilka
- 5 delar motsvarar successiva tvärsnitt hos den tredimensionella kroppen, vilken metod innefattar följande metodsteg: påläggning av pulverlager på ett arbetsbord, tillförande av energi från en strålkanon enligt ett för pulverlagret fastställt körschema till nämnda utvalda område inom pulverlagret, sammansmältning
- 10 av det enligt nämnda körschema utvalda området av pulverlagret för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella kropp, varvid en tredimensionell kropp bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur successivt pålagda pulverlager.

15 Fig. 1

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100



2/11

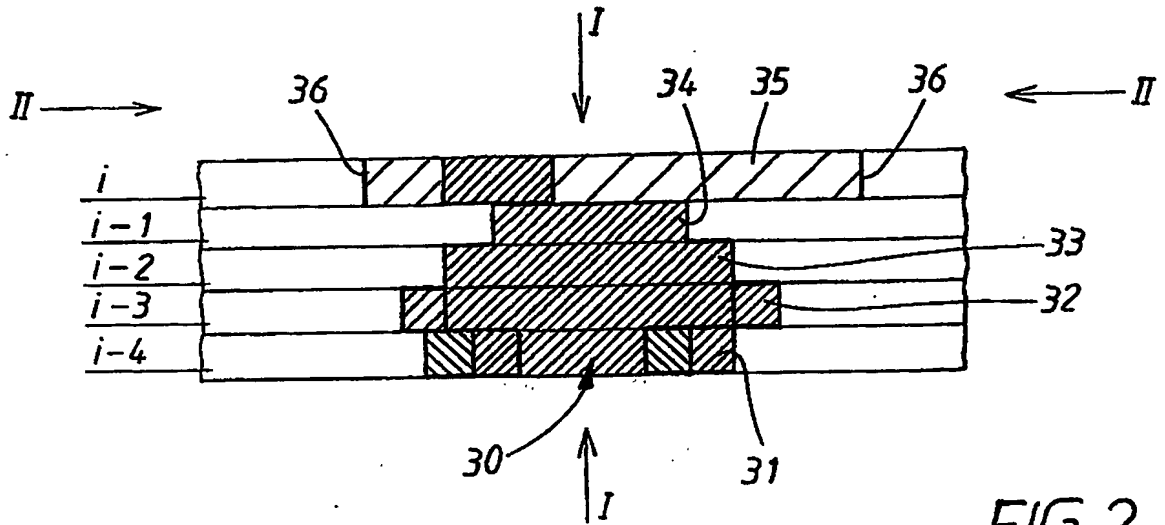


FIG. 2

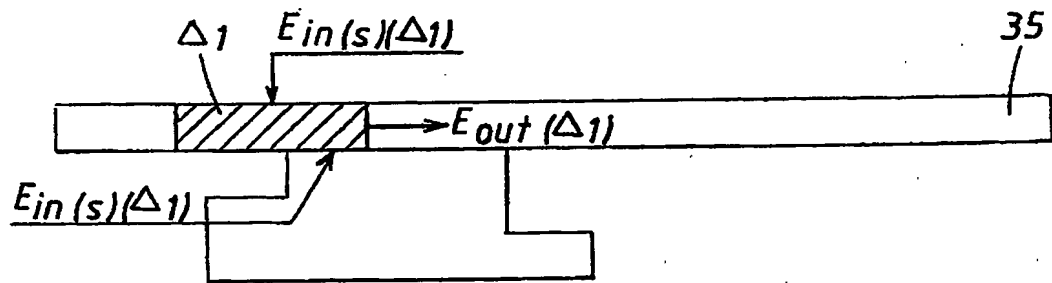


FIG. 3

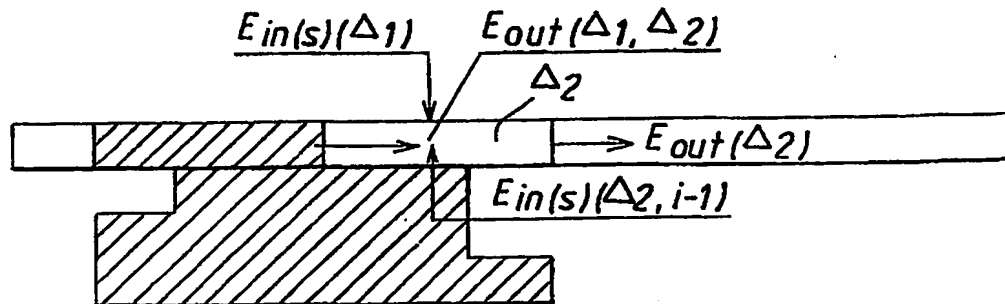


FIG. 4

3/11

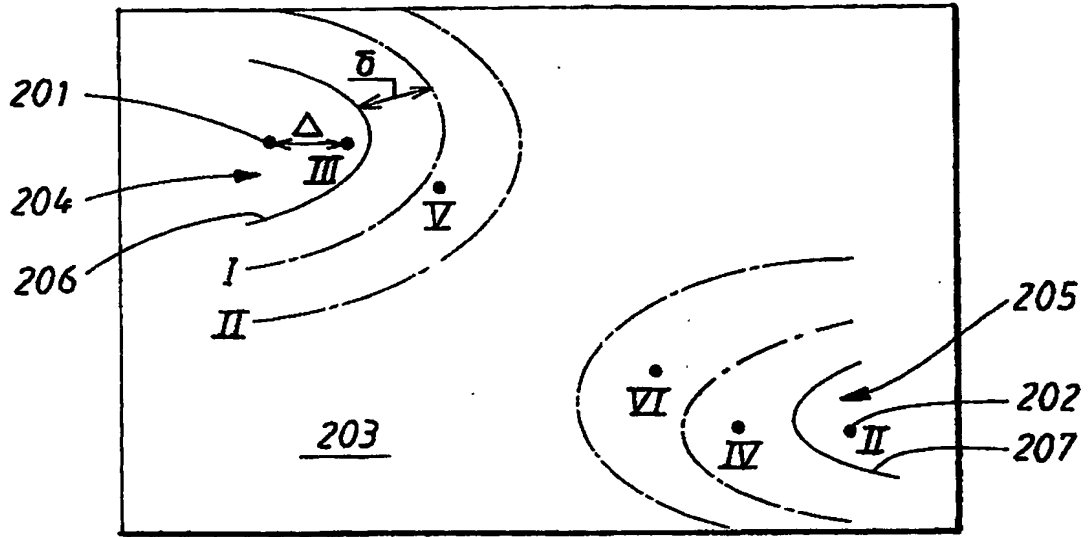


FIG.5

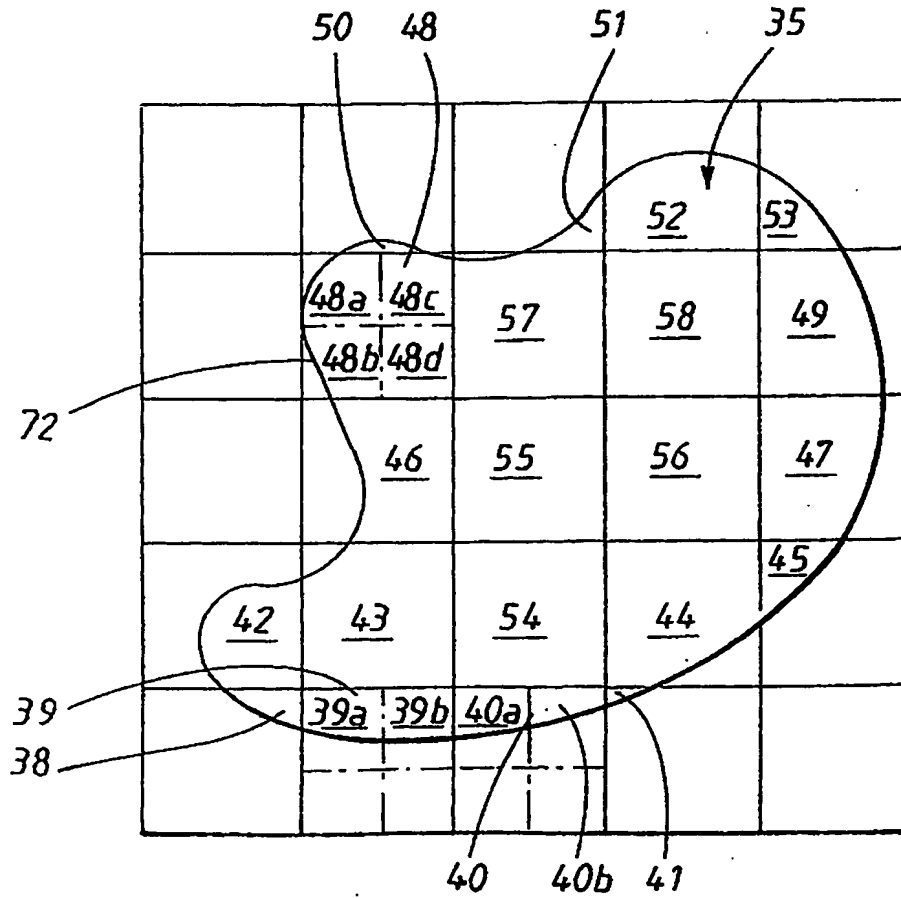


FIG. 6

4/11

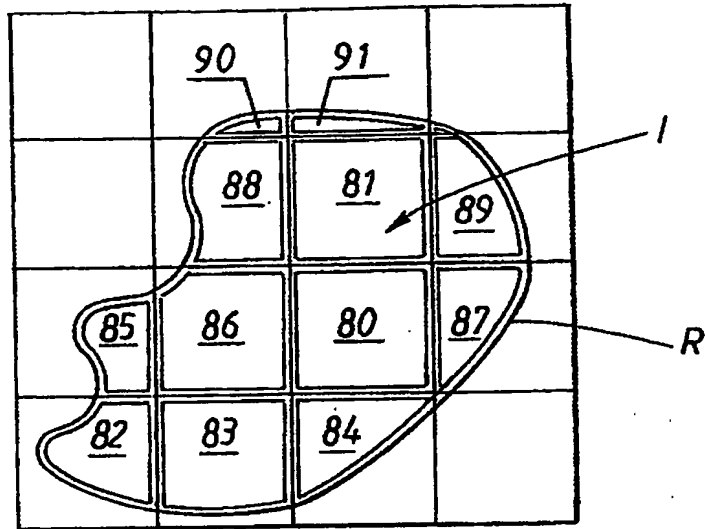


FIG. 7

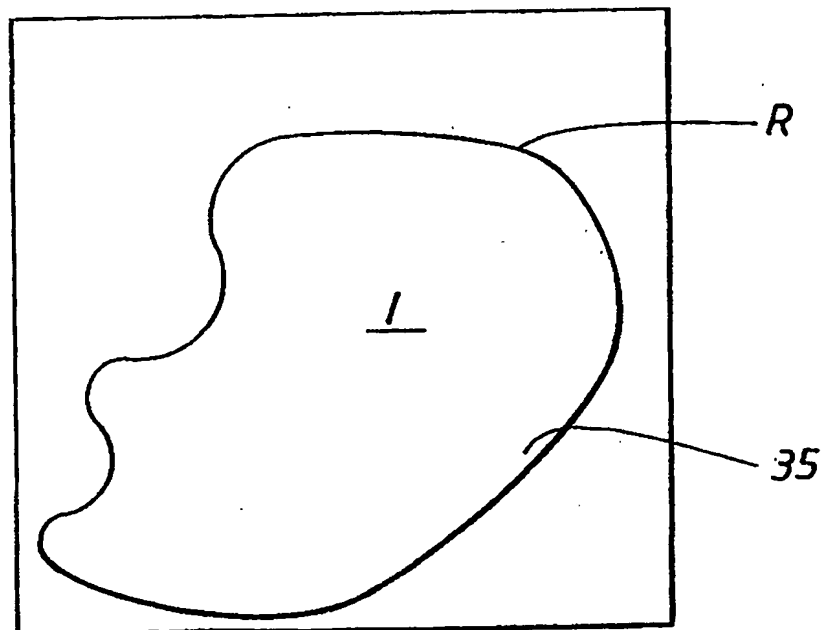


FIG. 8

4/11

5/11

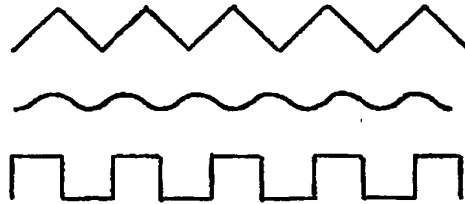


FIG. 9

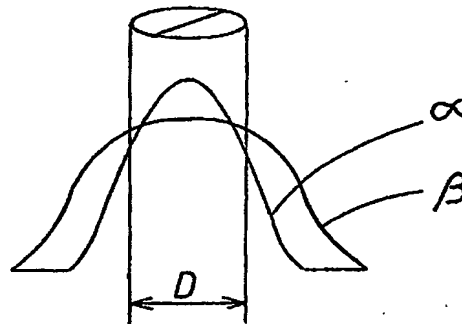


FIG.10

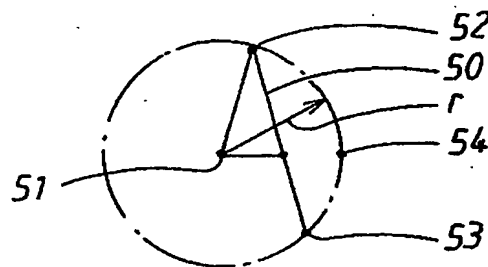


FIG.11

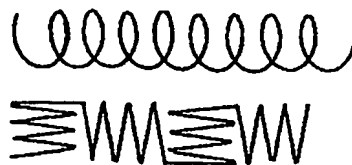


FIG.12

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

6/11

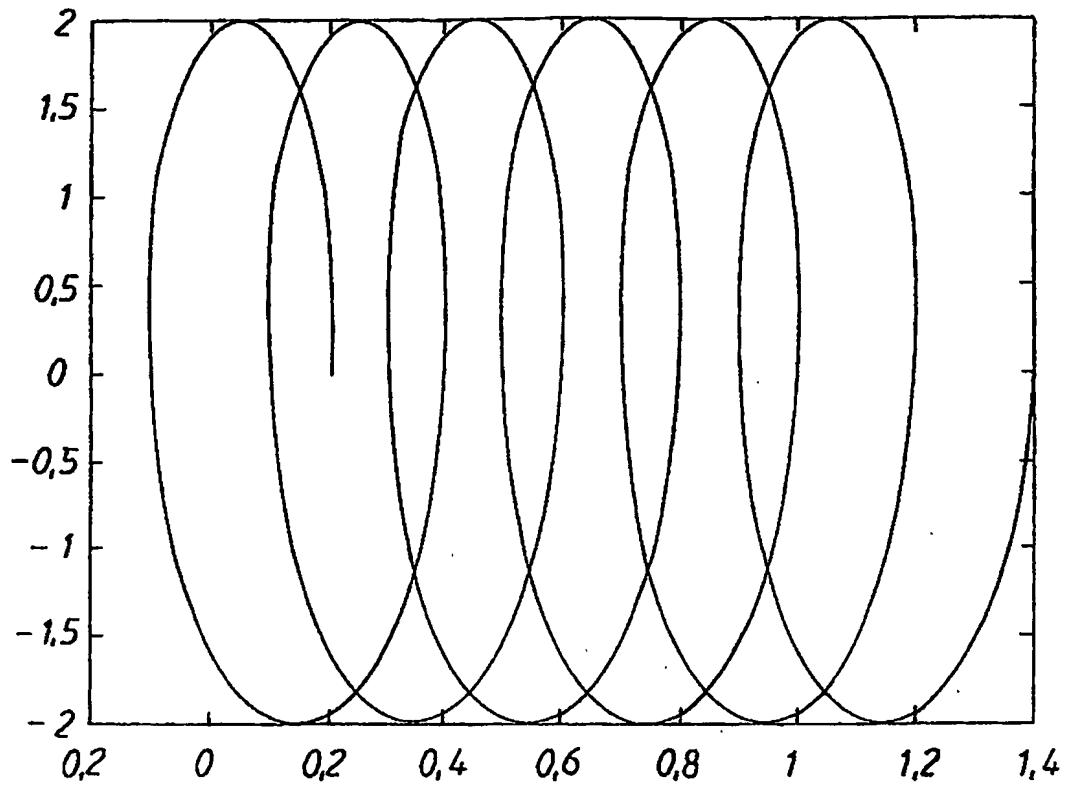


FIG. 13

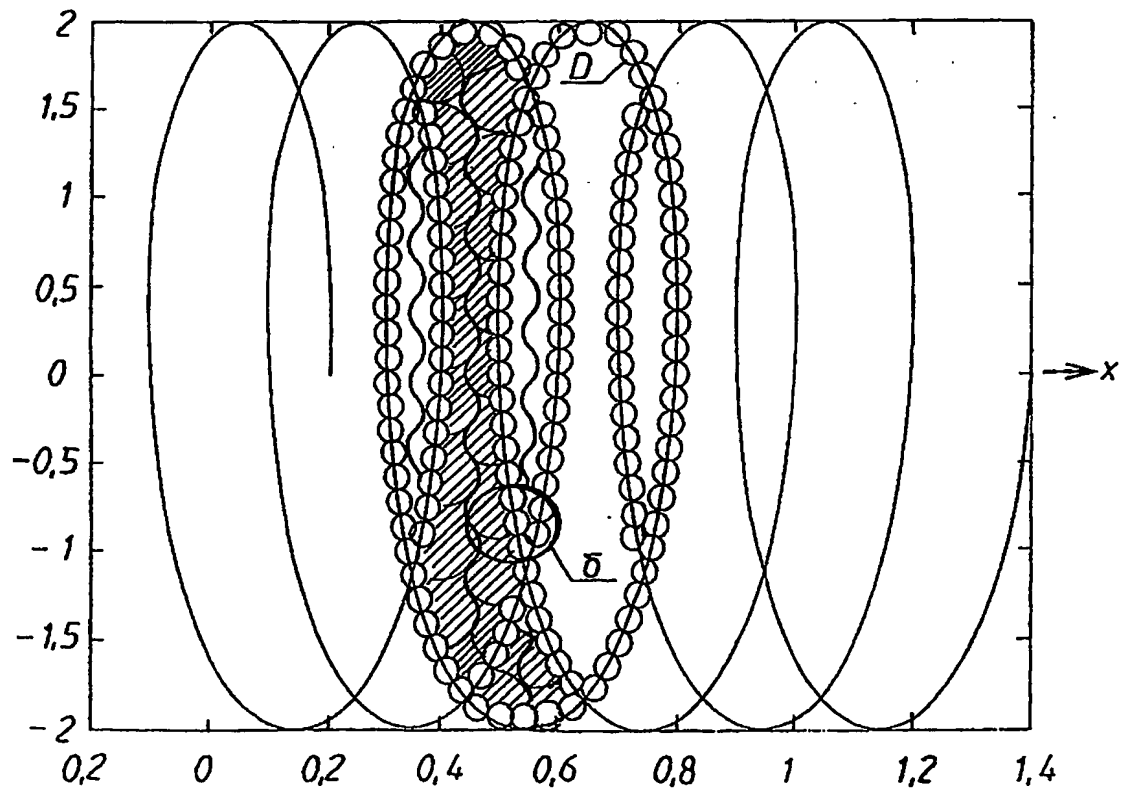
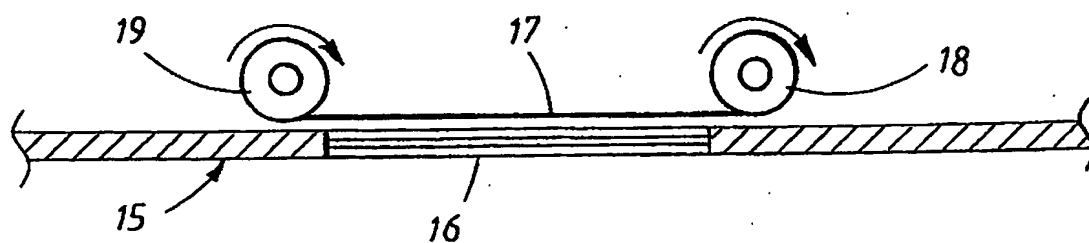
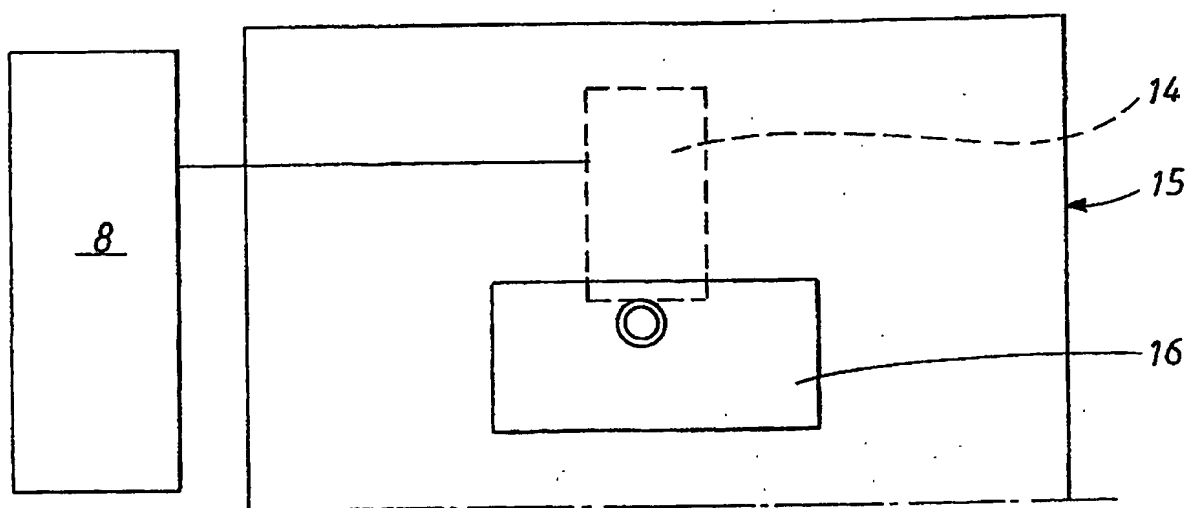


FIG. 14

7/11



8/11

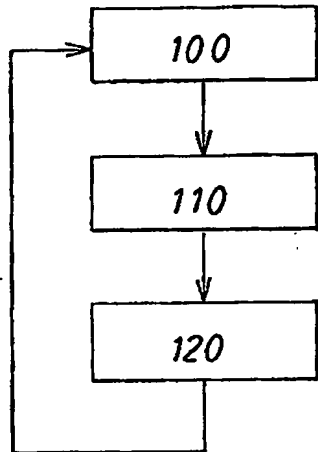


FIG. 17

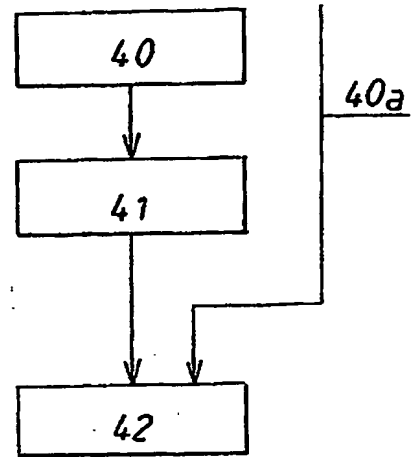


FIG. 18

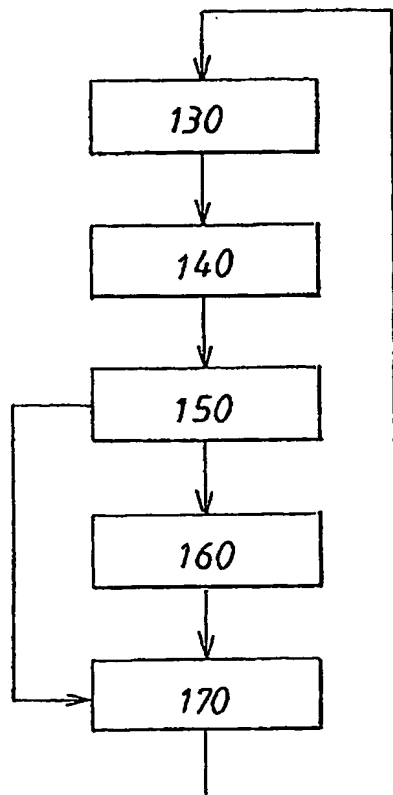


FIG. 19

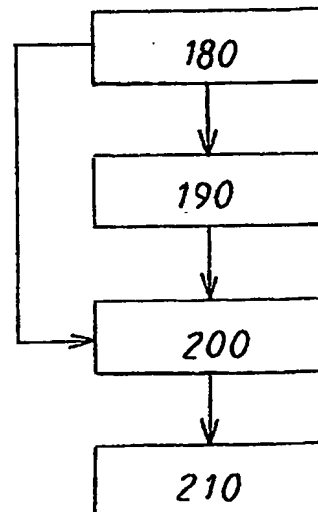


FIG. 20

FIG. 17

9/11

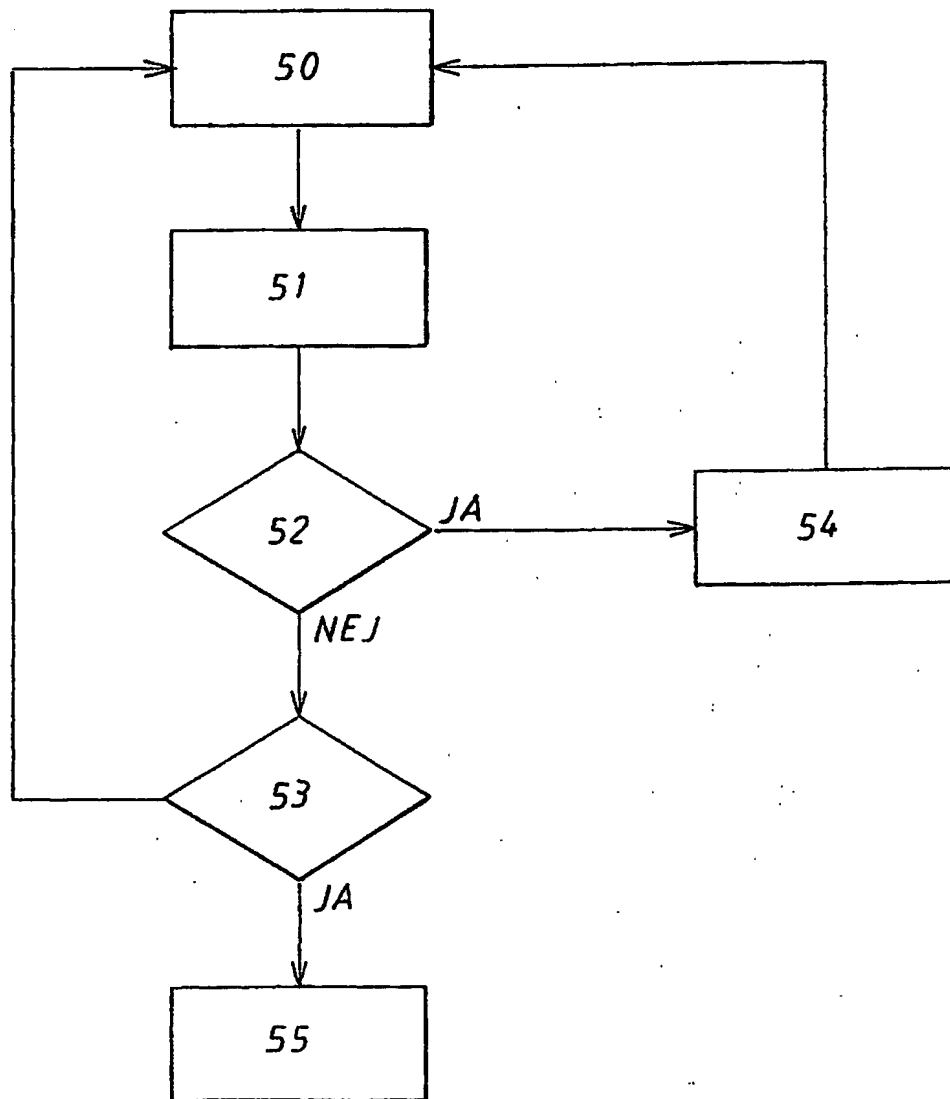
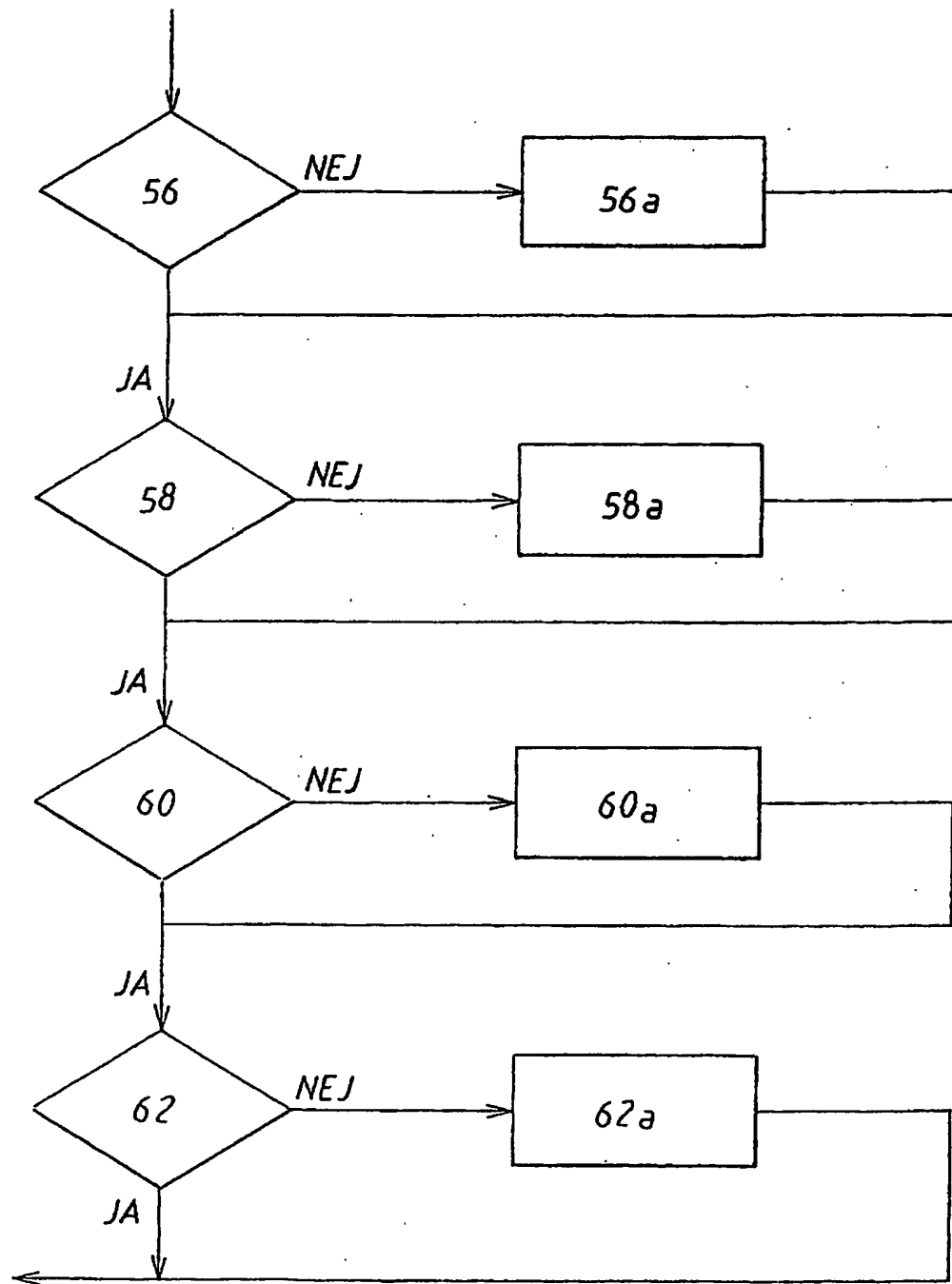


FIG. 21

10/11

FIG. 22

11/11

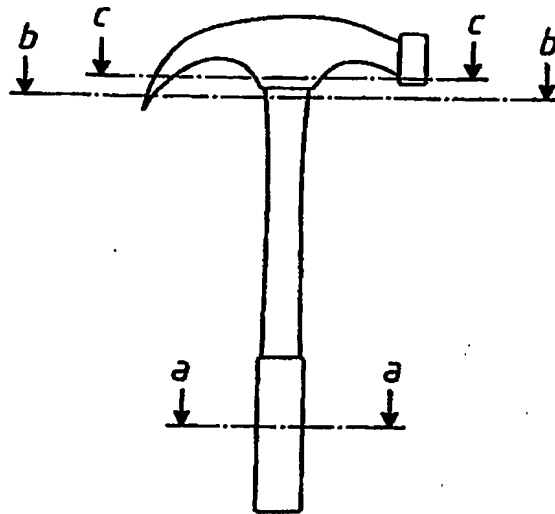


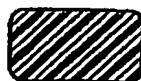
FIG. 23



a-a



b-b



c-c



FIG. 24

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.